# VERGLEICHENDE ABRIEBUNTERSUCHUNGEN ZWISCHEN DER KUNSTSTOFFSCHALE „ISOCETTE" UND DER SCHMELZSCHALE „BIOCETTE"

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades Doktor der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

GERD LÜLING

1982

UNIV. LIBRARY

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535714_0099

Aus der Prothetischen Abteilung der Poliklinik
und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
- Westdeutsche Kieferklinik - der Universität
Düsseldorf

Direktor: Prof. Dr. Hermann Böttger

# VERGLEICHENDE ABRIEBUNTERSUCHUNGEN ZWISCHEN DER KUNSTSTOFFSCHALE " ISOCETTE " UND DER SCHMELZSCHALE " BIOCETTE "

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades Doktor der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

GERD LÜLING

1982

Gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der
Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.:
Prof. Dr.
Herbert Theodor Brüster

Referent

gez.:
Prof. Dr. med. dent.
Hermann Böttger

Korreferent

gez.:
Prof. Dr. med. dent.
Walter Weise

Meinem Doktorvater
Herrn Prof.Prof.h.c.Dr.med.dent. Hermann Böttger

und

meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS


Seite

1. Einleitung und Fragestellung 1

2. Allgemeiner Teil 3

.1. Die Versuchsmaterialien 3

.1. Die Wirkung von Zahnbürsten auf Verblendkunststoffe 3

.2. Die Wirkung von Zahnpasten auf Verblendkunststoffe 4

.3. Die dentalen Kunststoffe 6

.1. "Isocette" 6

.2. "Biocette" 9

.2. Definition des Verschleißes und allgemeine Gesetzmäßigkeiten 13

.3. Die Ursachen des Abrasivverschleißes an Zähnen 19

3. Spezieller Teil mit eigenen Untersuchungen 21

.1. Auswahl und Anfertigung der Versuchskörper 22

.2. Meßmethoden 23

.1. Auswägung 23

.2. Oberflächenmessung 23

.3. Versuchsanordnung 31

.4. Versuchsergebnisse 34

.5. Diskussion 62

.6. Zusammenfassung 63

4. Literaturverzeichnis 65

## 1. Einleitung und Fragestellung

Aufgrund aller zahnärztlichen Erkenntnisse und Erfahrungen ist die Säuberung der Zähne nach jeder Mahlzeit mit Hilfe von Zahnbürste und Zahnpasta eine zwingende Notwendigkeit, da die Selbstreinigung des Mundes zwar vorhanden, aber ohne objektivierbaren eindeutigen Säuberungswert ist (J.Gerke und W.Klemt, 21).
Diese mechanische Säuberung dient der Kariesprophylaxe und der Vermeidung von Parodontopathien und wird meistens von seiten des Patienten nur aus kosmetischen Gründen betrieben.
Weiterhin kann davon ausgegangen werden, daß der Zahnersatzträger seine vorher angenommenen Reinigungsgewohnheiten und -mittel nicht ändern wird (H.Böttger, 6).
Daher dürfen bei der Herstellung von Zahnersatz nur solche Materialien Verwendung finden, die gegenüber ihrer Abnützung ein ähnliches Verhalten aufweisen wie die natürlichen Zähne (H.Meyer, 30).
Da seit einigen Jahrzehnten die Kunststoffe wegen ihrer einfachen Verarbeitung und somit auch aus Kostengründen das Porzellan als Verblendmaterial bei Kronen- und Brückenarbeiten mehr und mehr verdrängen, muß insbesondere der durch die Zahnreinigungsmittel auftretenden Abrasionswirkung Aufmerksamkeit geschenkt werden.
Seit der Einführung von Kunststoffen auf dem dentalen Sektor versucht die Industrie neue und verbesserte Kunststoffe zu entwickeln, die neben ihrer Festigkeit, Härte und Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Einflüssen eine ähnliche Abrasionsfestigkeit wie der natürliche Zahn aufweisen.

Dabei soll das Material einfach in seiner Verarbeitung sein.
Diese Arbeit soll durch experimentelle Untersuchungen Aufschluß darüber geben, inwieweit sich der neuentwickelte Kunststoff Isosit (Firma Ivoclar) von einem in seiner Verarbeitungsweise ähnlichen aber älteren Kunststoff hinsichtlich der Abrasionsfestigkeit unterscheidet.
Bei den beiden zu untersuchenden Kunststoffen wurde der Rationalisierung im zahnärztlichen Laboratorium Beachtung geschenkt.
Aus diesem Grund wurden zwei fabrikatorisch hergestellte Schalen ausgesucht; und zwar die Kunststoffschale Isocette (Ivoclar) aus dem neuen Kunststoff Isosit und die Schmelzschale Biocette (De Trey) als Vertreter der Metacrylsäuremethylester.
Bei diesen Schalen entfallen gegenüber den herkömmlichen Verblendkunststoffen eine Reihe von Arbeitsgängen, die für den Techniker Arbeitserleichterung und -verkürzung insbesondere hinsichtlich der Oberflächengestaltung und -bearbeitung bedeuten (H. Gründler; 22).

## 2. Allgemeiner Teil

### 1. Die Versuchsmaterialien

#### .1. Zahnbürste

Heute zählt die Zahnbürste, die vor etwa dreihundert Jahren eingeführt wurde, zu den gebräuchlichsten Instrumenten zur mechanischen Zahnreinigung.
Im Laufe der Entwicklung wurden die damals verwendeten Naturborsten mit ihren hinlänglich bekannten Nachteilen (E. Wannenmacher, 46; H. Ritze, 38; C. Leimgruber, 28) durch die Entwicklung von geeigneten Kunststoffborsten verdrängt.
Folgende Forderungen sind heute an eine gute Zahnbürste zu stellen (D.E. Lange, 27):

- flache, plane Bürstenoberfläche
- feste, biegsame Borsten
- kleiner Bürstenkopf, der Zugang zu allen Teilen der Zahnoberflächen und der Approximalräume ermöglicht
- abgerundete oder zumindest stumpfe Borstenenden
- Anordnung der Borstenbündel in multi-tuftet-Form

In der Zahnbürste allein ist jedoch nicht die eigentliche Ursache des Abrasivverschleißes zu sehen.
Zu diesem Ergebnis gelangten E. Hofmann,(Beyerle und Moser, 3) sowie (Ritze, Hoffmann und Franz, 37).

Folgende grundsätzliche Zusammenhänge zwischen Zahnpflege und Abrasion wurden in allen Arbeiten erkannt und insbesondere von (Th. Flerlage und R.Marxkors, 18) hervorgehoben:

- in Verbindung mit Wasser entsteht durch die Zahnbürste keine oder nur eine minimale Abrasion
- erst in Verbindung mit Zahnpasta verursacht die Zahnbürste einen erheblichen Abrieb
- bei gleicher Bürste ist der Abrieb abhängig von der Zusammensetzung der Paste
- bei gleicher Paste ist der Abrieb unabhängig von der Art der Borsten (Natur- oder Kunststoffborsten)
- bei gleicher Zahnbürste und gleicher Paste ist der Abrieb abhängig vom Auflagedruck
- der Abrieb ist abhängig von der Putzdauer

.2. Zahnpasten

Wie schon im vorherigen Abschnitt angeführt, haben alle bisherigen Untersuchungen gezeigt, daß bezüglich des Abrasivverschleißes im Rahmen der Zahnreinigung das Hauptaugenmerk auf die verwendeten Zahnpasten gerichtet werden muß.
Die Reinigungskraft der Zahnpasta setzt sich aus einer mechanischen Scheuerwirkung durch Abrasivstoffe sowie aus einer chemischen Einwirkung von Seiten zugefügter Netzmittel zusammen (P.Riethe, 36).

Eine Zahnpasta enthält nach(Rateitschak, 34) et al. folgende Bestandteile:

- Schleifmittel und Abrasivstoffe (Kalziumkarbonate, Kalziumphosphate, Metaphosphate, kleinstkörnige Kieselsäure, Aluminiumoxide, Silikate)
- Suspensionsmittel ($H_2O$, Glycerin, Propylenglykol, Sorbitsirup)
- Verdickungs-, Stabilisierungs- und Bindemittel (Schleime, Gele, Stärke, Alginate, eventuell Öle)
- oberflächenaktive Stoffe (Netzmittel, z.B. Natriumlaurylsulfonate)
- aromatische Stoffe und Geschmackskorrigenzien (Menthol, Pfefferminzöl)
- medikamentöse und chemische Zusätze (Fluorid, Desinfizientien, Adstringentien, Entzündungshemmer, Desensibilisierungsmittel, Vitamine)
- Farbstoffe

Entscheidend für die Abrasion an Kunststoffen sind die Schleifmittel.
Die Teilchengröße der unter Punkt 1 angegebenen Mittel schwankt zwischen 4 und 50 µm.
Aufgrund dieser Tatsache ist es die Aufgabe des Zahnarztes, dem Patienten, der eine kunststoffverkleidete Kronen- oder Brückenarbeit eingegliedert bekommen hat, eine Zahnpasta mit kleiner Schleifmittelkorngröße und somit mit geringerer abrasiver Wirkung zu empfehlen.

.3. Kunststoffe

Bei den Kunststoffen, die in dieser Arbeit miteinander verglichen werden, handelt es sich um fabrikatorisch hergestellte Kunststoffschalen.

.1. Isocette

Die Isocette ist eine fabrikatorisch hergestellte, hochdruckpolymerisierte, vollständig ausgearbeitete, hochglanzpolierte, zahnfarbene, im Durchschnitt ca. 1,2 mm dicke Kunststoffschale, die von der Firma Ivoclar vertrieben wird.
Zur chemischen Zusammensetzung von dem vom Isosit abgeleiteten Produkt gibt die Firma Ivoclar bis auf ein Merkblatt keine nähere Auskunft, so daß nur das von der Firma Ivoclar herausgegebene Merkblatt zitiert werden kann, da nähere Angaben von keiner anderen Seite zu erhalten waren:

- Isosit besteht aus einem modifizierten Bowen - Vernetzer, zu dessen Verarbeitung weitere Zusätze wie beispielsweise Monomere zur Verdünnung nicht notwendig sind.
- Der Füllstoff besteht aus der gleichen modifizierten Bowen - Verbindung, welche vorpolymerisiert wurde.
- Isosit enthält außerdem pyrolytische Kieselsäure mit einer Korngröße von 5 - 400 Angström.
  Diese Kieselsäure (ca. 20 Volumenprozente) erfüllt bei Isosit nicht die Funktion des Füllstoffes, sondern dient zur Erzielung der gewünschten Konsistenz.
  (Auszug aus Merkblatt Sch 199/8 - 77/0,2/L der Firma Ivoclar).

Bei der Isocette liegen ähnliche Verarbeitungsrichtlinien vom Arbeitsablauf im zahntechnischen Labor vor, wie für das in der Literatur beschriebene Vorgehen zur Kunststoffschalentechnik der Firma Hutschenreuther (P. Birke, 5).
Die Vorteile der Verblendschalentechnik gegenüber den bisherigen Verfahren liegen im Fortfall der zeitraubend empfundenen Modellation in Wachs, des Einbettens, des Ausbrühens, des Stopfens, des längeren Polymerisierens, des Ausbettens und der schwierigen Nachbearbeitung der Verblendung (H.Gründler, 22).

Die folgenden Abbildungen zeigen schematisch den Herstellungsgang einer Facettenkrone mit Hilfe der Kunststoffschalentechnik.

Der zu versorgende Zahn wird in der einschlägig bekannten Art und Weise präpariert und der Stumpf von einem gegossenen Metallkäppchen bedeckt (Abb. 1).
Auf die labiale Stufe wird die Kunststoffacette als Schale aufgeschliffen und in einem Gipsvorguß fixiert. Die Schale wird mit Einbettmasse auf die Rückenfläche des Käppchens verlängert, um einen Retentionsraum freizuhalten und die Form der Kronenrückfläche zu gestalten (Abb. 2).
Diese wird in Wachs modelliert und in Metall überführt. Das Kronengerüst ist fertig, die Kunststoffschale paßt jetzt genau in einen auf sie modellierten Rahmen (Abb. 3).
Nun kann die Kunststoffschale mit der Persistormasse, es handelt sich um einen schnellhärtenden Kunststoff, in das Facettengerüst eingesetzt werden (Abb. 4).

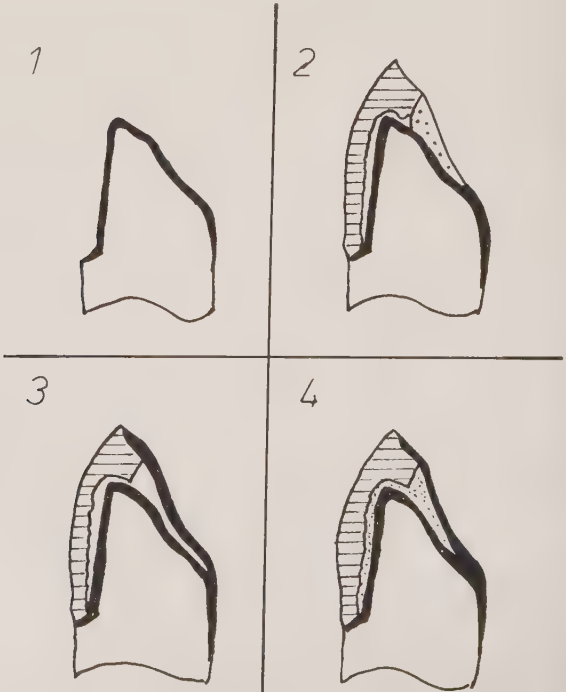



Abb.1 - 4

.2. Biocette

Wie bei der Isocette handelt es sich bei der von (H.Gründler, 22) angegebenen Biocette um eine fabrikatorisch hergestellte, hochdruckpolymerisierte, vollständig ausgearbeitete, hochglanzpolierte, durchsichtige, nahezu farblose, im Durchschnitt ca. 0,4 mm dicke Kunststoffschale, die von der Firma De Trey hergestellt wird.
Im Gegensatz zur Isocette wird die Biocette auf Methylmethacrylatbasis hergestellt.
Dem Methylmethacrylat oder auch Methylester genannt kommt heute bei den in der Zahnheilkunde verwendeten handelsüblichen Polymerisationskunststoffen die Hauptbedeutung zu.
Die natürlichen Ausgangsprodukte dieser zahnärztlichen Kunststoffe sind:

Carbonat ($CaCO_3$) in Form von Kalkstein
und Kohle.

Durch Erhitzen des Kalksteines wird in Kalköfen der gebrannte Kalk (Calciumoxid, CaO) dargestellt

$CaCO_3$ --- $CaO + CO_2$

Im elektrischen Carbidofen führt man dem Calciumoxid Kohlenstoff in Form von Kohle zu und schmilzt es so zusammen, das Calciumcarbid ($CaC_2$) entsteht.

$CaO + 3\ C$ --- $CaC_2 + CO$

Calciumcarbid wird im Acetylenentwickler unter Zugabe von $H_2O$ in Acetylen $C_2H_2$, den sehr reaktionsfähigen gasförmigen Kohlenwasserstoff,überführt.
Dies ist der Ausgangsstoff für viele Kunststoffe.
Werden dem Ausgangsstoff Acetylen Wasserdampf und Luft zugeführt, geht die Reaktion über Acetaldehyd zur Essigsäure ($CH_3COOH$), welche im Kontaktofen zu Aceton ($CH_3COCH_3$) umgebaut wird.

Der durch die Ammoniaksynthese gewonne Ammoniak ($NH_3$) wird im Kontaktofen mit CO in Blausäure (HCN) überführt und im Rührkessel entsteht daraus mit Aceton das Acetoncyanhydrin ( $(CH_3)_3$ COHCN ).
Das bei der Ammonikasynthese freigewordene Kohlenmonoxid und der Wasserstoff ergeben Methanol ($CH_3OH$). Methanol, Schwefelsäure und Acetoncyanhydrin ergeben nun im Reaktionskessel das Methacrylsäurenitril. Über die Destillation erhält man den Methacrylsäuremethylester in monomerer Form, welcher den Weg über die Polymerisation und Trocknung zum Polymethylmethacrylat (Polymer) nimmt.
Fabrikatorisch hergestellte Kunststoffzähne, bzw. Facetten werden heute im allgemeinen im Trockenpolymerisationsverfahren hergestellt.
Unter Zuführung von Druck und Wärme wird das Polymerisat in Metallformen gepreßt.
Für die labormäßige Verarbeitung der Kronen- und Brückenmaterialien hingegen wird in der Regel das Naßpolymerisationsverfahren angewendet, d.h. Pulver und Flüssigkeit werden in einem bestimmten Verhältnis angeteigt und nach einer 3 - 5 minütigen Anquellzeit in eine vorbereitete Küvette gegeben, gepreßt und anschließend bei einem Druck von ca. 4 atü unter Zufuhr von Wärme polymerisiert.
Eine weitere Verarbeitungsweise besteht in dem freien Auftragen und Modellieren des Kunststoffteiges und der anschließenden Polymerisation.

Das technische Vorgehen unter Verwendung der Biocette sieht ähnlich wie das bei der Isocette aus.
Bei der Biocette erfolgt die Farbgestaltung individuell, da die Schmelzschale nahezu farblos ist und somit der Techniker die Schale mit den entsprechenden Kunststoffen hinterschicken kann.
Außerdem wird der für die Hinterschickung notwendige Polymerisationskunststoff in einem Spezialgerät, dem sogenannten Biodent-Extramat polymerisiert (H.Gründler, 22; K.-H.Oebels, 31).
(Abb. 5)

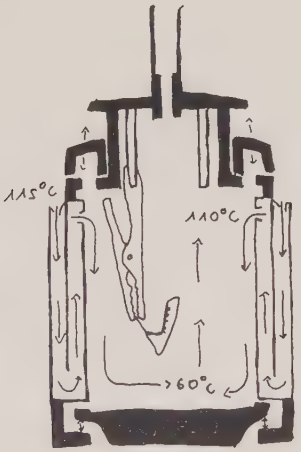
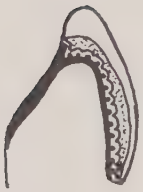



Abb.5



Näheres Vorgehen zur technischen Verarbeitung der Biocette (Biodent$^{R}$ K + B 75):
Zur Vorbereitung des Metallgerüstes wird Opaker F aufgetragen.
Auswahl der Biocette - Form und Beschleifen.
Die Biocette muß in Länge und Breite eher etwas größer als zu klein ausgewählt werden, da sie durch geringfügiges Beschleifen noch korrigiert werden kann.
Das Beschleifen sollte sich jedoch nur auf den zervikalen und interdentalen Bereich beschränken, um die Schichtung im Inzisalbereich nicht zu beeinträchtigen.
Die Biocette soll den Verblendbereich bis in den Interdentalraum bündig bedecken.
Die Biocette wird nach eventuell erfolgter individueller Farbgebung (wie z.B. "Kalkfleck") blasenfrei und randvoll mit Dentinmasse gefüllt.
Auf dem Metallgerüst werden alle Hohlräume und untersichgehenden Stellen ebenfalls blasenfrei aufgefüllt.
Anschließend wird die Biocette zervikal am Stumpf oder Metallgerüst angesetzt und mit sanftem Druck zur Schneide hin angepreßt.
Die Stellung zu den Nachbarzähnen und der Randschluß zum Metallgerüst müssen dabei berücksichtigt werden.
Herausquellender Überschuß wird mit einem scharfen Instrument abgetrennt.
Zur Erhöhung der Transparenz im inzisalen Bereich kann anstelle der Dentinmasse Schmelzmasse aufgetragen werden.
Die Polymerisation erfolgt in einem speziell entwickelten Gerät vollautomatisch bei einer Temperatur von ca. 110° C und bei konstantem Druck von ca. 7 atü innerhalb von 10 - 15 Minuten.

## 2. Definition des Verschleißes und allgemeine Gesetzmäßigkeiten

Der Begriff "Verschleiß" wurde erstmals in der Vornorm zu DIN 50 320 folgendermaßen definiert:
Unter Verschleiß im Sinne der Technik wird die unerwünschte Veränderung der Oberfläche von Gebrauchsgegenständen durch Lostrennen kleiner Teilchen infolge mechanischer Ursachen verstanden.
Bei den vorliegenden Untersuchungen muß aber der im November 1976 erarbeitete Entwurf zur DIN 50 320 Berücksichtigung finden.
In diesem Entwurf wurden die Begriffe "Reibung - Verschleiß - Schmierung" in dem 1966 geprägten und seitdem international eingeführten Oberbegriff "Tribologie" zusammengefaßt.

Tribology: The science and technology of interacting surfaces in relative motion and of the practices relatet thereto ("Lubrication (Tribology)" H.M.S.O. London 1966)

Aufgrund der in den verschiedenen Ausschüssen benannten Erkenntnisse muß der Verschleiß von Werkstoffen nicht als Werkstoffeigenschaft, sondern als Eigenschaft eines komplexen "tribologischen Systems" aufgefaßt werden.
Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, die verwendeten Begriffe neu zu definieren.

Verschleiß:
Der Vorgang eines fortschreitenden Materialverlustes aus der Oberflächenschicht eines festen Körpers infolge tribologischer Beanspruchungen

Hinweis:

- Tribologische Beanspruchungen entstehen durch Kontakt und Relativbewegung der Oberfläche eines festen Körpers, genannt Grundkörper, mit einem festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörper bzw. Gegenstoff
- Verschleiß äußert sich in Stoff- und Formänderungen der tribologisch beanspruchten Oberflächenschicht sowie im Auftreten von losgelösten Teilchen (Verschleißpartikel)

Verschleißarten:

Unterscheidung der Verschleißvorgänge nach Art der tribologischen Beanspruchung und der beteiligten Stoffe

Verschleißmechanismen:

Die beim Verschleiß ablaufenden physikalisch - chemischen Prozesse

Verschleißerscheinungen:

Die sich durch Verschleiß ergebenden Veränderungen der Oberflächenschicht eines Körpers sowie die Art und Form der anfallenden Verschleißpartikel

Verschleißbetrag:

Zahlenmäßige Angaben über die Änderung der Gestalt oder der Masse eines Körpers durch Verschleiß

Um eine Aussage bezüglich der in dieser Arbeit verwendeten Materialien treffen zu können, muß zunächst eine Systemanalyse des Verschleißvorganges vorgenommen werden.

In dem vorliegenden speziellen Fall um die Materialbearbeitung eines Werkstoffes (Verblendschale) durch eine Bürste.
Das bei jedem Verschleißvorgang wirkende Beanspruchungskollektiv wird gebildet durch:

- die Bewegungsform und den zeitlichen Bewegungsablauf
- die technisch - physikalischen Beanspruchsparameter

Bei dem gewählten Versuchsaufbau liegt die Elementar - Bewegungsform "Gleiten" vor.

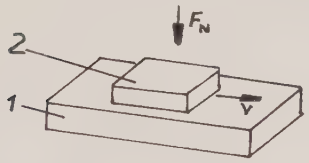



Abb.6

Ein Gegenkörper (2) (Bürste) gleitet über einen Grundkörper (1). (Abb. 6)

Bei einer Auflage der Bürste wird immer ein punktförmiger, gleichgroßer Kontakt hergestellt, da die Kunststoffborsten am Ende abgerundet sind und so die Unterlage nur punktförmig berühren, wobei die Größe des Berührungspunktes unabhängig vom Durchmesser der Kugel ist (Flerlage / Marxkors, 18) (Abb. 7).

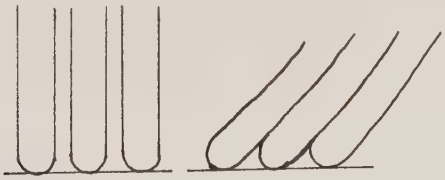


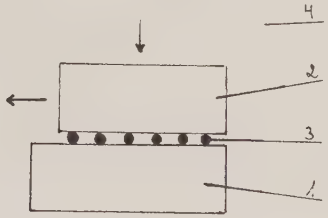
Abb.7

Die technisch - physikalischen Beanspruchungsparameter bei dem Verschleißvorgang sind gegeben durch die folgenden Größen:

- Normalkraft $F_N$
- Geschwindigkeit v
- Temperatur T
  (die Temperatur bezieht sich auf den thermischen Gleichgewichtszustand des gesamten tribologischen Systems)
- Beanspruchungsdauer $t_B$
  (gibt die Zeitspanne an, in der die zu Verschleiß führenden tribologischen Beanspruchungen wirksam sind)

Weiterhin muß die Struktur des tribologischen Systems aufgeführt werden, das gekennzeichnet ist durch die am Verschleißvorgang beteiligten stofflichen Partner, ihre tribologisch relevanten Eigenschaften und Wechselwirkungen miteinander.
Im allgemeinen sind an einem Verschleißvorgang vier stoffliche Partner, die "Elemente" (1), (2), (3) und (4) beteiligt:

Abb.8




| Technische Funktion des Tribosystems | Grundkörper (1) | Gegenkörper (2) | Zwischenstoff (3) |
|---|---|---|---|
| Gleitlager | Facette | Bürste | Zahnpasta |

Das Umgebungsmedium (4) ist im vorliegenden Fall Luft.

Die in dieser Arbeit zum Verschleiß führenden Wechselwirkungen zwischen Grundkörper (1) und Gegenkörper (2) lassen sich durch die Verschleißmechanismen beschreiben. Aufgrund des gewählten Versuchsaufbaus kommen zwei der vier voneinander verschiedenen Haupt - Verschleißmechanismen in Frage:

- Abrasion:
  Riefenbildung durch ritzende Beanspruchung (Mikrozerspannungsprozeß)

- Oberflächenzerrüttung:
  Rißbildung in Oberflächenbereichen durch sich nach Betrag oder Richtung ändernde wechselnde Spannungen bzw. Verformungen

Der sich durch die Wirkung von Beanspruchungskollektiv und Verschleißmechanismen ergebene Verschleiß wird durch die Verschleißkenngrößen beschrieben, die sich gliedern in:

- Verschleißerscheinungsformen (Erscheinungsbild der Verschleißoberfläche)

- Verschleißbetrag (Meßgrößen für den Verschleiß)

In der vorliegenden Arbeit finden sich gegeben durch den Verschleißvorgang zwei verschiedene Verschleißerscheinungsformen (nach DIN 4761):

- Riefen:
  grabenförmige Verschleißspuren großer Länge

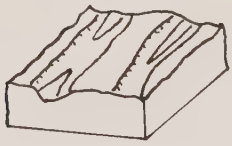


Abb. 9

- Kratzer:
  riefenähnliche Oberflächenbeschädigung geringe Ausdehnung und Länge

Abb.10

## 3. Die Ursachen des Abrasivverschleißes an Zähnen

In der Literatur (E.Kraft, 25; G.Tanzer; M.Hofmann, 24; L.G.Mathé; H.Ritze, 37) werden bei der Beanspruchung von Zähnen zwei Grundtypen voneinander unterschieden, die von(H.Uetz und J.Föhl, 41 - 44) in folgenden Thesen zusammengefaßt werden:
Leergebiß und Zähneknirschen bewirken eine Gleitbeanspruchung der beteiligten Feststoffe unter relativ hohem Druck unter Anwesenheit eines flüssigen Zwischenstoffes (Mundspeichel) mit Verschleißpartikeln. Dabei sind sowohl gleichartige als auch ungleichartige Werkstoffe, teilweise die Kombination Kunststoff / Metall und Verschleißpartikel beteiligt.
Bei Zahnpflege mit Zahnpasta wirken feste Zwischenstoffe körniger Form mit. In diesem Fall liegt der Mechanismus des Abrasivverschleißes vor.
Beim Kauen (Zerkleinerung) von Speisen wirken beide Beanspruchungen also Gleitbeanspruchung und Abrasivverschließ mit, wobei die Speisen den abrasiv wirkenden Zwischenstoff darstellen. Der Anteil der beiden Komponenten ist komplex und nicht ohne weiteres zu erfassen.

Bezogen auf kunststoffverblendete Kronen- und Brückenarbeiten dürfte jedoch nach einhelliger Meinung der meisten Autoren die Hauptursache für den Verschleiß in der Bürstenbeanspruchung in Verbindung mit Zahnpasta liegen.
Dies wird insbesondere durch die von (M.Hofmann, 24) durchgeführten 273 Nachuntersuchungen von Kunststoffverblendarbeiten veranschaulicht.

M.Hofmann stellte fest, daß sich bereits zwei Jahre nach Eingliederung von kunststoffverkleideten Kronen und Brückenarbeiten eine Einbuße des kosmetischen Effekts einstellt, so daß nach einer Zeitspanne von ca. 6 Jahren die Arbeiten unansehnlich sind.
Der spezielle Fall des Abrasivverschleißes, der besonders bei Verblendarbeiten aus Kunststoff schon nach relativ kurzer Tragezeit zu unangenehmen, unansehnlichen Abnützungen führen kann, ist der Gegenstand der folgenden Untersuchungen.

## 3. Spezieller Teil und eigene Untersuchungen

Im Rahmen dieser Arbeit soll untersucht werden, inwieweit sich die Kunststoffschalen "Isocette" und "Biocette" bezüglich ihres Abrasivverschleißes voneinander unterscheiden.
An dieser Stelle muß aber betont werden, daß diese Untersuchungen nur als Hilfsmittel zur Beurteilung der Materialien verwendet werden können, da diese unter Laborbedingungen durchgeführt wurden; d.h. Mundmilieu, individuelle Putzmethode, individueller Funktionsablauf und Kaugewohnheiten (Pressen und Knirschen) sowie Ernährungsart bleiben unberücksichtigt.
Durch die Auswahl von Versuchskörpern mit ähnlicher Formgestaltung und Bearbeitungsweise und durch eine gleichbleibende Versuchsanordnung unter Berücksichtigung der einschlägigen DIN - Normen liefern die Ergebnisse Relativwerte, die aber durchaus eine Aussage bezüglich des Abrasivverschleißes ermöglichen.

.1. Auswahl und Anfertigung der Versuchskörper

Da bei dieser Arbeit fabrikatorisch hergestellte Kunststoffschalen miteinander verglichen werden sollen, wurde auf die Anfertigung planer Prüfkörper, wie sie in ähnlichen Arbeiten verwendet wurden (K.-H.Oebels, 31), verzichtet.
Die Auswahl der Kunststoffschalen erfolgte nach dem Zufallsprinzip, d.h. es wurden von beiden Arten die entsprechende Zahl wahllos aus der Produktion herausgenommen, wobei jedoch die gleiche Form der Prüfkörper beachtet wurde.
Im Gegensatz zu den "Isocetten" wurden die "Biocetten" entsprechend den Verarbeitungsrichtlinien mit Kunststoff hinterschickt.
Von jeder Kunststoffschalensorte wurden vierzehn Prüfkörper hergestellt.
Je sechs Prüfkörper wurden in vorgefertigten Aluminiumformen eingebettet.
Dies ermöglichte vor, während und nach den Abriebversuchen eine eindeutige reproduzierbare Einstellung und somit Untersuchung im Perth - o - meter (siehe Meßmethoden und Versuchsanordnung).
Die anderen acht Schalen wurden reversibel eingebettet, so daß sie zur Auswägung wieder aus den Formen entfernt werden konnten.

.2. Meßmethoden

Der Abrasivverschleiß sollte durch zwei verschiedene Meßarten objektivierbar dargestellt werden:
zum einen durch Gewichtsvergleich, zum anderen durch Abtastung der Oberfläche vor, während und nach der Beanspruchung durch eine Zahnbürste.

.1. Auswägung

Die Messung des Gewichtsverlustes erfolgte mit einer digitalen Analysenwaage.
Da bekanntermaßen die in der Dentaltechnik verwendeten Kunststoffe ein bestimmtes Wasseraufnahmevermögen besitzen, wurden die Prüfkörper vor dem Versuch vierzehn Tage bei 20 - 22 Grad Celsius in aqua dest. gelagert und die Wasseraufnahme über einen Zeitraum von mehreren Stunden verfolgt.
Zur Auswägung wurden die Prüfkörper mit Druckluft ca. fünf Sekunden lang trockengeblasen, um Feuchtigkeitsreste und eventuell vorhandene Schmutzpartikel zu beseitigen.
Während und nach dem Abrieb wurde in der gleichen Weise verfahren.

.2. Oberflächenmessung

Zur Messung der Oberfläche wurde die Tastschnittmethode des Perth - o - meters Typ S 5 P (Hersteller Firma Perthen) benutzt.
Zum besseren Verständnis der Meßmethode sind vorab einige kurze Erläuterungen der Arbeitsgrundlagen des Gerätes notwendig (nach Bedienungsanleitung des Perth - o - meters S 5 P).

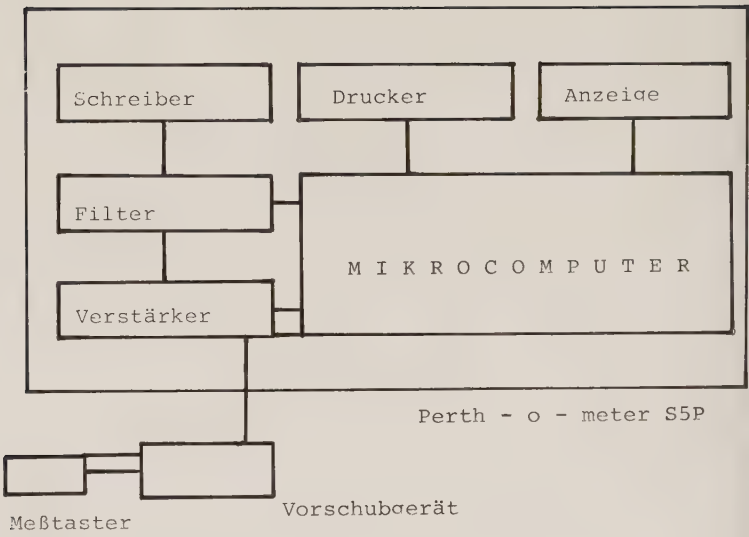



Abb.11

Der Meßtaster fühlt mit seiner vertikalbeweglichen Tastspitze die Gestalt der Oberfläche längs der Taststrecke ab. Die Bewegungen der Tastspitze werden auf einen elektrischen Meßwertwandler übertragen, der diese in elektrische Meßwerte umwandelt, die das ertastete Profil darstellen.

Das Vorschubgerät bewegt den Meßtaster mit konstanter Geschwindigkeit auf einer horizontalen Bahn über die zu messende Oberfläche.

Das Perth - o - meter S 5 P ist ein elektrisches Meßgerät zur Profilaufzeichnung, Meßwertanzeige und Protokollierung von Messungen an technischen Oberflächen.

Der Meßverstärker realisiert die erforderliche Vertikalvergrößerung des ertasteten Profils P.

Der Filter ermittelt aus dem ertasteten Profil P das Rauheitsprofil R.
Der Schreiber zeichnet das Profil R maßstabsgerecht auf. Der Mikrocomputer ermittelt während des Abtastvorganges die Ergebnisse für alle Oberflächen - Meßgrößen.
Die Anzeige stellt einzelne Ergebnisse irrtumsfrei dar.
Der Drucker protokolliert alle gewünschten Meßergebnisse.

Neben den Arbeitsgrundlagen müssen an dieser Stelle auch einige wichtige Begriffe und Definitionen genannt werden.

Oberfläche

ist die Begrenzung eines festen Körpers. Die Oberfläche weist in den meisten Fällen keine regelmäßige Struktur auf, sondern sie enthält Gestaltabweichungen, die unterteilt werden in Rauheit, Welligkeit und Formgestalt.

Tastschnitt

ist ein meßtechnisches Verfahren zur zweidimensionalen Erfassung der Oberfläche.
Hierbei wird der Oberflächenmeßtaster mittels eines Vorschubgerätes mit konstanter Geschwindigkeit horizontal über die Oberfläche geführt.

Tastrichtung

ist die Richtung, in welcher der Meßtaster über die Oberfläche geführt wird. Im allgemeinen wird die Richtung so gewählt, daß sich der größte Rauheitswert ergibt.

Taststrecke $l_t$

ist die Strecke, die der Meßtaster während eines Meßvorganges insgesamt zurücklegt.

Gesamtmeßstrecke $l_m$

ist der Teil der Taststrecke $l_t$, der ausgewertet wird.

Vorlaufstrecke $l_v$

ist der erste Teil der Taststrecke $l_t$, der nicht ausgewertet wird.

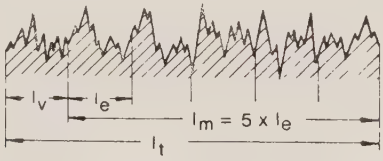



Abb.12

Ertastetes Profil P

ist das vom Meßtaster längs der Taststrecke ertastete Profilbild der Oberfläche.
Das Oberflächenprofil P, so wie es der Meßtaster aufnimmt, liegt allen weiteren Auswertungen zugrunde. Es wird vom Profilschreiber mit allen Einzelheiten aufgezeichnet.
Das ertastete Profil P enthält in jedem Fall die Rauheit der Oberfläche.
Niveau und Neigung des ertasteten Profils werden durch eine Ausgleichsgerade bestimmt.
($y = ax + b$ ; a = Neigung, b = Niveau)

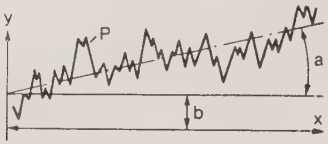



Abb.13

Ausgerichtetes Profil

ist das ertastete Profil nach dem Ausrichten.
(a = 0 ; b = 0)

Abb.14

Rauheitsprofil R

ist das ertastete Profil nach einer Filterung mit einem Wellenfilter einer definierten Grenzwellenlänge. Aus dem Rauheitsprofil R werden die Oberflächenmaße $R_a$; $R_t$ und $R_z$ gebildet.

Abb.15

Mittenrauhwert $R_a$

ist der arithmetische Mittelwert der absoluten Beträge aller Abstände des Rauheitsprofils R von der mittleren Linie innerhalb der Gesamtmeßstrecke $l_m$.

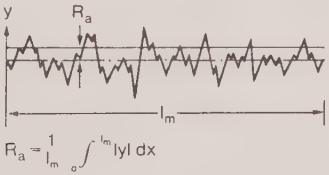



Abb.16

Maximale Rauhtiefe $R_t$

ist der senkrechte Abstand zwischen höchstem und tiefsten Punkt des Rauheitsprofils R innerhalb der Gesamtmeßstrecke $l_m$.

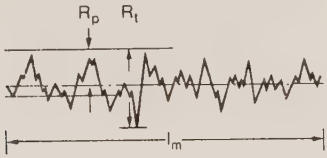
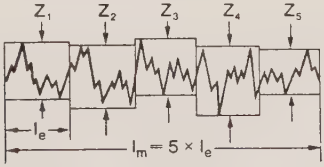



Abb.17

Gemittelte Rauhtiefe $R_z$

ist der Mittelwert aus den Einzelrauhtiefen fünf aufeinanderfolgender Einzelmeßstrecken $l_e$.




$$R_z = \frac{1}{5}(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$$

Abb.18

Um eine Aussage anhand der ermittelten Werte treffen zu können, wurde der sogenannte Völligkeitsgrad errechnet.
Unter dem Völligkeitsgrad versteht man das Verhältnis der gemittelten Rauhtiefe $R_z$ zur maximalen Rauhtiefe $R_t$.

Mit zunehmendem Völligkeitsgrad weist die Oberfläche eines Werkstoffes eine höhere Güte auf, da die Oberfläche dichter und unempfindlicher gegen Abnutzung wird.
Erreicht der Völligkeitsgrad den theoretischen Grenzwert 1, so ist die Oberfläche ideal glatt.

Wie an anderer Stelle schon erwähnt, wurden die Prüfkörper in vorgefertigten Aluminiumformen eingebettet.
Dabei wurden die Schalen so ausgerichtet, daß eine möglichst große Fläche im rechten Winkel zum Abtastkopf des Perth - o - meters angeordnet war.
Bedingt durch die Oberflächenbeschaffenheit der Proben war eine Zuordnung der Grenzwellenlänge und Gesamtmeßstrecke zur gemittelten Rauhtiefe $R_z$ und zum Mittenrauhwert $R_a$ gemäß DIN 4768 nicht möglich.
Die ermittelten Werte wurden bei folgender Einstellung errechnet:

$$\lambda_{Bmax} = 0{,}08 \text{ mm und } l_t = 1{,}50 \text{ mm}.$$

Um möglichst eindeutige Werte zu erhalten, wurden die Prüfkörper auf einem Schlitten mit Mikrometerschrauben, der auf dem Tisch des Abtastgerätes befestigt war, eingespannt.

Dies ermöglichte wiederholbare eindeutige Einstellungen von sechs Meßstrecken pro Kunststoffschale.
Die Vergrößerung des ertasteten Profils war so gewählt, daß der Abstand (10 mm) zweier stark durchgezogener Linien auf dem Meßstreifen 100 µM in der Vertikalen und 2,50 µM in der Horizontalen betrug.

.3. Versuchsanordnung

Für die Versuche ist eine Putzmaschine verwendet worden, die konstante Versuchsbedingungen gewährleistete.

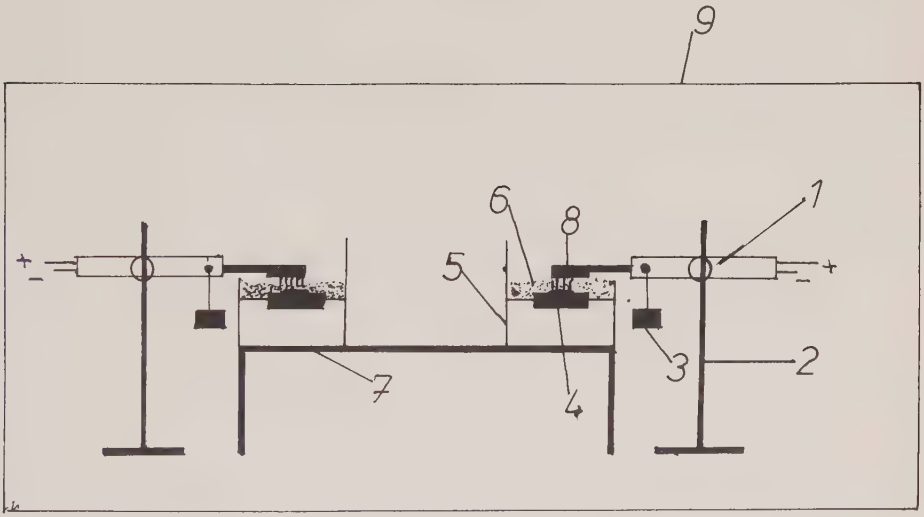



Abb.19

Grundausstattung der Maschine waren vier elektrische Broxodent - Zahnbürsten der Firma Blend - a - med Mainz (1), die an einem Stangengerüst (2) im Schwerpunkt der Zahnbürste freischwingend aufgehängt waren. Durch diese Rotationsmöglichkeit um die Waagerechte konnte über Gewichte (3) die Auflagekraft des Bürstenkopfes (8) bei 400 p konstant gehalten werden (dieser Wert ist im Rahmen einer Dissertation von (H.Wengel, 47) an der Westdeutschen Kieferklinik ermittelt worden).

Die in genormten Metallformen eingebetteten Schalen (4) wurden in zylindrisch ausgeformten Kunststoffbehältern (5), die eine Halterung für die Proben aufwiesen, befestigt.
Die Prüfkörper befanden sich am tiefsten Punkt des Behälters, so daß sie ständig von einem Pasten - Wasser - Gemisch (6) bedeckt bzw. umspült waren.
Zusätzlich zu der Rotation des Bürstenkopfes, der durch die elektrische Zahnbürste gegeben war, wurde, um die Beanspruchung der Prüfkörper gleichmäßig zu gestalten und um Einlaufriefen zu vermeiden, der Tisch (7), auf dem die Behälter befestigt waren, durch einen Excenterantrieb horizontal gegenüber der feststehenden Rotationsachse der Bürstenhalterung hin und her bewegt.
Durch diese Lagerung ergeben sich für die Proben Phasen der Beanspruchung und Erholung.
Die gesamte Apparatur befand sich in einem verschließbaren Kasten, der nahezu konstante Temperaturen gewährleistete und während der langen Versuchszeit eine Wasserverdunstung verhinderte (9).
Die aufgesteckten Kunststoffbürsten (8) - mittlerer Härte, planer Bürstenkopf mit abgerundeten in multi - tufted Firm angeordneten Borsten - bedeckten die Kunststoffacette nahezu vollständig.
Das Pasten - Wasser - Gemisch bestand aus einem Teil Zahnpasta (Blendax Anti - Belag) und vier Teilen Wasser.
Die Zahnbürsten und das Abrasivgemisch wurden zum Zeitpunkt jeder Messung ausgetauscht.

Da die Zeitdauer und Art der Zahnreinigung individuell verschieden sind, wurde die Versuchsdauer empirisch auf folgende Mittelwerte festgelegt:

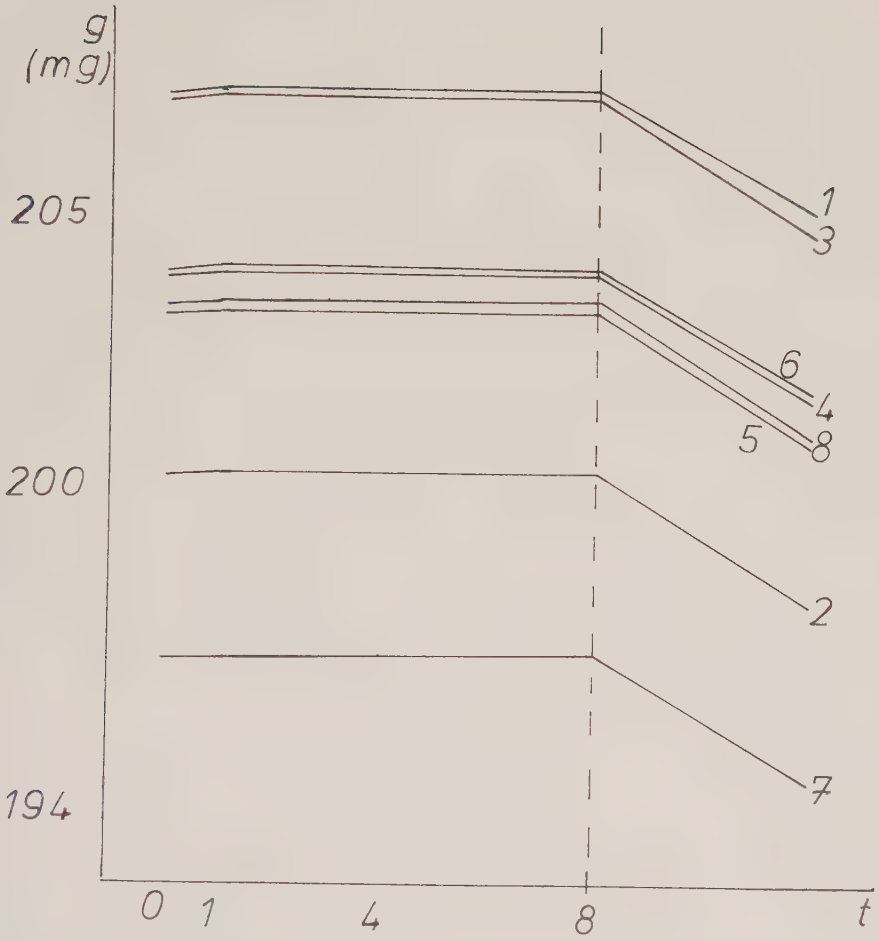
Dauer einer einmaligen Reinigung ca. eine Minute; daraus folgen pro Tag zwei Minuten.
Von diesen zwei Minuten entfallen auf die reine Säuberung der fazialen Zahnflächen rund die Hälfte der Zeit.
Legt man zugrunde, daß nicht nur die Front, sondern auch die Seitenzähne geputzt werden, so kann man annehmen, daß rund 20 Sekunden pro Tag die Labialflächen der oberen bzw. unteren Schneidezähne geputzt werden (M.Hofmann, 24).
Eine Putzzeit von zwei Stunden entspricht dann einer Tragezeit von ca. einem Jahr, vier Stunden von ca. zwei Jahren.
Der Zeitraum von zwei Jahren wurde deshalb gewählt, weil in diesem Zeitraum die ersten Zerstörungen am kunststoffverblendeten Zahnersatz auftreten (P.Birke, 5; M.Hofmann, 24; H.Ritze, 37; H.Wengel, 47).

## .4. Versuchsergebnisse

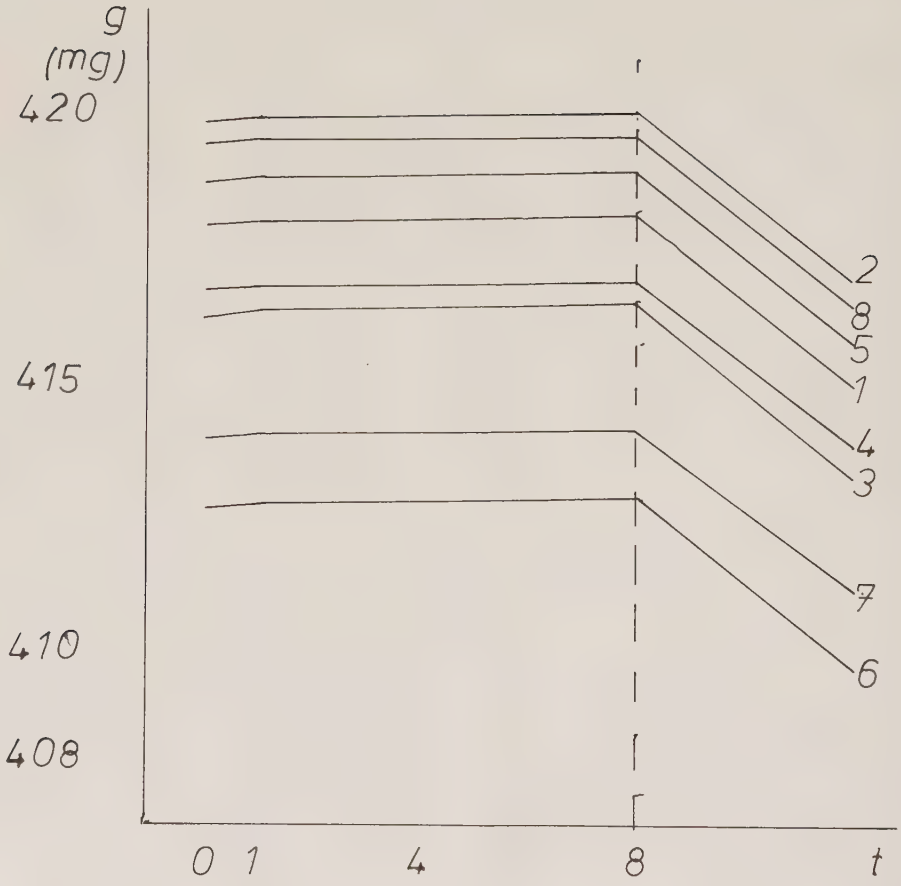
### .1. Auswägung

Wie bereits bei der Beschreibung der Meßmethoden betont wurde, wurden die Prüfkörper vor dem Versuch in aqua dest. gelagert.
Während der letzten acht Stunden des Versuches erfolgte die Auswägung der Kunststoffschalen (siehe Tabelle 1 und 2).
Gegen Ende der Versuchsreihe betrug die Gewichtszunahme im Mittel 0,01 bis 0,02 mg.
Dies sind jedoch zu vernachlässigende Werte, da sie in dieser Größenordnung auch durch Umwelteinflüsse oder Meßungenauigkeiten erzielt werden können.

Im Anschluß an diesen Versuch wurden die Prüfkörper zwölf Stunden beansprucht.
Im Gegensatz zu den Oberflächenuntersuchungen wurde ein dreimal so langer Zeitraum gewählt, um einen signifikanten Gewichtsunterschied zu verdeutlichen (siehe Tabelle 3 und 4).
Um den durchschnittlichen Gewichtsverlust der beiden Versuchskörper zu ermitteln, wurde aus der Summe der Gewichtsdifferenzen der einzelnen Proben das arithmetische Mittel errechnet.
Der durchschnittliche Gewichtsverlust betrug bei den "Isocetten" 2,39 mg und bei den "Biocetten" 4,17 mg.
Aufgrund der großen Differenz zwischen den Ergebnissen der zu vergleichenden Kunststoffe besteht ein signifikanter Unterschied.
Im folgenden erfolgt eine graphische Darstellung der Gewichtszunahme bei der Lagerung in aqua dest. über die letzten acht Stunden und die anschließende Gewichtsabnahme unter Beanspruchung.




Graphische Darstellung der Versuchsreihe "Isocette"
Abb.20




Graphische Darstellung der Versuchsreihe "Biocette"
Abb.21

Die nächste Abbildung, bei der die mittlere Gewichtszunahme und die mittlere Gewichtsabnahme zu dem aufgezeigten Kurvenverlauf führt, verdeutlicht auch graphisch den Unterschied zwischen der "Isocette" (I) und der "Biocette" (II) durch die bedeutend geringere Steigung der Isocettengerade nach dem Einsetzen der tribologischen Beanspruchung.

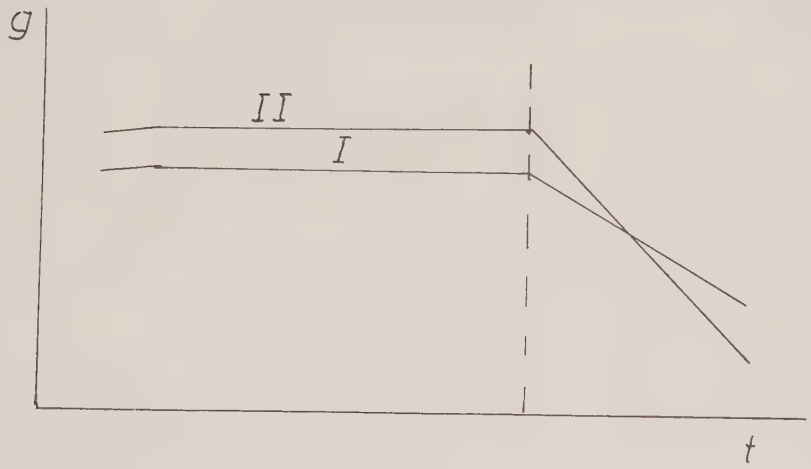



Abb.22

Wasseraufnahme in mg über die letzten 8 Stunden des Versuches:

| Prüfkörper | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Δ 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x + 0h | 207,68 | 200,55 | 207,53 | 204,25 | 203,53 | 204,36 | 197,13 | 203,75 | 203,60 |
| x + 2h | 207,75 | 200,61 | 207,61 | 204,32 | 203,60 | 204,44 | 197,20 | 203,80 | 203,67 |
| x + 4h | 207,79 | 200,65 | 207,63 | 204,35 | 203,62 | 204,45 | 197,22 | 203,81 | 203,69 |
| x + 8h | 207,81 | 200,66 | 207,65 | 204,37 | 203,64 | 204,47 | 197,25 | 203,82 | 203,71 |

Tabelle 1: "Isocette"

Wasseraufnahme in mg über die letzten 8 Stunden des Versuches:

| Prüfkörper | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| x + 0h | 418,12 | 420,05 | 416,49 | 416,92 | 418,95 | 412,88 | 414,20 | 419,67 | 417,16 |
| x + 2h | 418,21 | 420,13 | 416,56 | 416,99 | 419,01 | 412,96 | 414,27 | 419,73 | 417,23 |
| x + 4h | 418,27 | 420,20 | 416,63 | 417,05 | 419,08 | 412,99 | 414,31 | 419,76 | 417,29 |
| x + 8h | 418,29 | 420,21 | 416,65 | 417,06 | 419,10 | 413,01 | 414,33 | 419,78 | 417,30 |

Tabelle 2: "Biocette"

Abrasivverschleiß in mg nach 12 Stunden Beanspruchung:

| Prüfkörper | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | $\triangle 8$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ausgangswert | 207,81 | 200,66 | 207,65 | 204,37 | 203,64 | 204,47 | 197,25 | 203,82 | 203,71 |
| Endbetrag | 205,59 | 198,23 | 205,16 | 202,01 | 201,23 | 202,08 | 194,91 | 201,37 | 201,32 |
| Differenz | 2,22 | 2,43 | 2,49 | 2,36 | 2,41 | 2,39 | 2,34 | 2,45 | 2,39 |

Tabelle 3: "Isocette"

Abrasivverschleiß in mg nach 12 Stunden Beanspruchung:

| Prüfkörper | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | $\Delta 8$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ausgangswert | 418,29 | 420,21 | 416,65 | 417,06 | 419,10 | 413,01 | 414,33 | 419,78 | 417,30 |
| Endbetrag | 414,19 | 416,05 | 412,44 | 412,93 | 414,85 | 408,82 | 410,21 | 415,55 | 413,13 |
| Differenz | 4,10 | 4,16 | 4,21 | 4,13 | 4,25 | 4,19 | 4,12 | 4,23 | 4,17 |

Tabelle 4: "Biocette"

.2. Oberflächenmessung

Wie schon an anderer Stelle beschrieben wurden Prüfkörper hergestellt, tribologisch beansprucht und ihre Oberfläche mittels des Perth - o - meters S 5 P untersucht.
Die Isocettenproben erhielten die Nummer P1 - P6 die Biocettenschalen die Nummern P7 - P12.
Die Beanspruchung erfolgt über einen Zeitraum von vier Stunden, wobei eine Zwischenmessung nach zwei Stunden durchgeführt wurde.
Die ermittelten Werte sind den folgenden Tabellen (Nummer 5 - 10) zu entnehmen.
In den Tabellen 11 und 12 wurden die errechneten unterschiedlichen Völligkeitsgrade gegenübergestellt und deren arithmetisches Mittel gebildet, um eine Aussage über die Oberflächenbeschaffenheit treffen zu können, da die alleinige Anordnung von Rauhigkeitsgrößen über die Güte eines Werkstoffes keinen Schluß zuläßt.
Die Messungen an den unbeanspruchten Prüfkörpern lieferten für die einzelnen Kunststoffschalen sehr unterschiedliche Ausgangswerte.
Erstaunlich ist hierbei, daß die Völligkeitsgrade, die ja bekanntermaßen einen Hinweis auf die Güte eines Stoffes liefern, relativ niedrig sind, obwohl die Kunststoffschalen fabrikatorisch hergestellt und poliert werden.
Im Gegensatz zur "Biocette" ändert sich bei der "Isocette" der Völligkeitsgrad günstig.
Die bestehenden Unebenheiten wurden eingeebnet und allem Anschein nach eine homogenere Oberfläche durch die tribologische Beanspruchung geschaffen.
Es kann somit eine eindeutige Aussage anhand der vorhandenen Werte getroffen werden, da aufgrund der unterschiedlichen Änderung der Völligkeitsgrade eine Signifikanz deutlich erkennbar ist.

P1 Isocette

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.081 | 0.072 | 0.042 |
| 0.090 | 0.083 | 0.045 |
| 0.109 | 0.111 | 0.046 |
| 0.126 | 0.114 | 0.048 |
| 0.145 | 0.147 | 0.046 |
| 0.202 | 0.149 | 0.049 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.369 | 0.364 | 0.279 |
| 0.419 | 0.351 | 0.313 |
| 0.465 | 0.674 | 0.294 |
| 0.514 | 0.430 | 0.341 |
| 0.609 | 0.795 | 0.317 |
| 0.951 | 0.510 | 0.309 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 0.649 | 0.618 | 0.334 |
| 0.808 | 0.662 | 0.364 |
| 1.113 | 1.760 | 0.354 |
| 1.272 | 0.645 | 0.552 |
| 1.641 | 2.285 | 0.442 |
| 2.546 | 1.033 | 0.396 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.126 | 0.113 | 0.046 |
| Δ Rz0 | Δ Rz2 | Δ Rz4 |
| 0.555 | 0.521 | 0.309 |
| Δ Rt0 | Δ Rt2 | Δ Rt4 |
| 1.338 | 1.167 | 0.402 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.415 | 0.446 | 0.769 |

P2 Isocette

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.200 | 0.096 | 0.084 |
| 0.235 | 0.099 | 0.084 |
| 0.219 | 0.109 | 0.085 |
| 0.199 | 0.087 | 0.085 |
| 0.211 | 0.086 | 0.083 |
| 0.214 | 0.074 | 0.084 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.802 | 0.457 | 0.384 |
| 0.913 | 0.493 | 0.371 |
| 0.752 | 0.954 | 0.374 |
| 0.805 | 0.413 | 0.390 |
| 0.803 | 0.680 | 0.389 |
| 0.815 | 0.475 | 0.397 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 1.884 | 0.930 | 0.706 |
| 1.763 | 1.130 | 0.625 |
| 1.787 | 1.627 | 0.662 |
| 1.869 | 0.911 | 0.723 |
| 1.897 | 1.750 | 0.635 |
| 1.989 | 1.160 | 0.735 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.213 | 0.092 | 0.084 |
| Δ Rz0 | Δ Rz2 | Δ Rz4 |
| 0.815 | 0.579 | 0.384 |
| Δ Rto | Δ Rt2 | Δ Rt4 |
| 1.865 | 1.251 | 0.681 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.437 | 0.463 | 0.564 |

Tabelle 5

*P3 Isocette*

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.079 | 0.056 | 0.050 |
| 0.082 | 0.051 | 0.042 |
| 0.103 | 0.049 | 0.047 |
| 0.155 | 0.048 | 0.049 |
| 0.188 | 0.054 | 0.056 |
| 0.183 | 0.070 | 0.069 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.575 | 0.408 | 0.251 |
| 0.547 | 0.297 | 0.228 |
| 0.512 | 0.280 | 0.275 |
| 0.791 | 0.313 | 0.260 |
| 0.909 | 0.271 | 0.316 |
| 0.933 | 0.337 | 0.332 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 1.260 | 1.001 | 0.386 |
| 1.140 | 0.349 | 0.325 |
| 0.989 | 0.408 | 0.336 |
| 1.230 | 0.474 | 0.374 |
| 1.748 | 0.398 | 0.425 |
| 1.643 | o.491 | 0.486 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.132 | 0.055 | 0.052 |
| Δ Rz0 | Δ Rz2 | Δ Rz4 |
| 0.711 | 0.318 | 0.277 |
| Δ Rt0 | Δ Rt2 | Δ Rt4 |
| 1.335 | 0.520 | 0.394 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.533 | 0.612 | 0.703 |

*P4 Isocette*

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.226 | 0.087 | 0.059 |
| 0.274 | 0.096 | 0.052 |
| 0.301 | 0.102 | 0.072 |
| 0.317 | 0.122 | 0.078 |
| 0.324 | 0.121 | 0.094 |
| 0.338 | 0.127 | 0.110 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.876 | 0.328 | 0.284 |
| 0.885 | 0.343 | 0.230 |
| 0.835 | 0.306 | 0.494 |
| 0.844 | o.377 | 0.330 |
| 0.812 | 0.391 | 0.437 |
| 0.936 | 0.422 | 0.427 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 1.841 | 0.757 | 0.457 |
| 1.970 | 0.850 | 0.396 |
| 1.960 | 0.752 | 0.584 |
| 1.975 | 0.688 | 0.652 |
| 1.971 | 0.752 | 0.991 |
| 1.895 | 0.737 | o.825 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.297 | 0.108 | 0.078 |
| Δ Rz0 | Δ Rz2 | Δ Rz4 |
| 0.865 | 0.355 | 0.367 |
| Δ Rt0 | Δ Rt2 | Δ Rt4 |
| 1.935 | 0.756 | 0.651 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.447 | 0.470 | 0.564 |

Tabelle 6

*P5 Isocette*

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.089 | 0.056 | 0.049 |
| 0.093 | 0.059 | 0.051 |
| 0.104 | 0.048 | 0.051 |
| 0.107 | 0.055 | 0.042 |
| 0.098 | 0.051 | 0.041 |
| 0.113 | 0.049 | 0.047 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.374 | 0.328 | 0.261 |
| 0.395 | 0.335 | 0.279 |
| 0.472 | 0.255 | 0.268 |
| 0.485 | 0.263 | 0.248 |
| 0.403 | 0.271 | 0.251 |
| 0.512 | 0.404 | 0.302 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 0.701 | 0.602 | 0.337 |
| 0.717 | 0.624 | 0.341 |
| 1.108 | 0.684 | 0.413 |
| 1.119 | 0.734 | 0.438 |
| 0.989 | 0.653 | 0.365 |
| 1.437 | 0.914 | 0.493 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.101 | 0.053 | 0.047 |
| **Δ Rz0** | **Δ Rz2** | **Δ Rz4** |
| 0.440 | 0.309 | 0.268 |
| **Δ Rt0** | **Δ Rt2** | **Δ Rt4** |
| 1.012 | 0.702 | 0.399 |
| **V0** | **V2** | **V4** |
| 0.435 | 0.440 | 0.672 |

*P6 Isocette*

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.202 | 0.147 | 0.051 |
| 0.197 | 0.079 | 0.074 |
| 0.212 | 0.092 | 0.087 |
| 0.208 | 0.085 | 0.070 |
| 0.194 | 0.138 | 0.068 |
| 0.203 | 0.144 | 0.054 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.872 | 0.566 | 0.301 |
| 0.808 | 0.413 | 0.403 |
| 0.823 | 0.397 | 0.395 |
| 0.814 | 0.421 | 0.408 |
| 0.785 | 0.534 | 0.387 |
| 0.801 | 0.562 | 0.324 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 1.846 | 0.959 | 0.567 |
| 1.858 | 1.005 | 0.585 |
| 1.862 | 1.074 | 0.601 |
| 1.861 | 1.067 | 0.598 |
| 1.823 | 0.989 | 0.572 |
| 1.849 | 1.003 | 0.581 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.203 | 0.114 | 0.067 |
| **Δ Rz0** | **Δ Rz2** | **Δ Rz4** |
| 0.817 | 0.482 | 0.370 |
| **Δ Rt0** | **Δ Rt2** | **Δ Rt4** |
| 1.850 | 1.016 | 0.584 |
| **V0** | **V2** | **V4** |
| 0.442 | 0.474 | 0.634 |

Tabelle 7

*P7 Biocette*

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.166 | 0.427 | 0.424 |
| 0.157 | 0.383 | 0.529 |
| 0.166 | 0.588 | 0.462 |
| 0.177 | 0.484 | 0.593 |
| 0.179 | 0.492 | 0.691 |
| 0.188 | 0.451 | 0.656 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.873 | 2.219 | 2.713 |
| 0.718 | 2.163 | 3.028 |
| 0.659 | 3.125 | 2.731 |
| 0.797 | 2.928 | 3.269 |
| 0.667 | 3.047 | 4.307 |
| 0.603 | 2.583 | 2.658 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 1.592 | 4.294 | 4.853 |
| 1.472 | 4.273 | 9.297 |
| 1.262 | 6.858 | 6.194 |
| 1.592 | 5.195 | 6.215 |
| 1.038 | 5.467 | 6.083 |
| 1.284 | 4.863 | 5.407 |

| ΔRa0 | ΔRa2 | ΔRa4 |
|---|---|---|
| 0.172 | 0.471 | 0.559 |
| ΔRz0 | ΔRz2 | ΔRz4 |
| 0.720 | 2.678 | 3.118 |
| ΔRt0 | ΔRt2 | ΔRt4 |
| 1.373 | 5.159 | 6.342 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.524 | 0.519 | 0.492 |

*P8 Biocette*

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.054 | 0.701 | 0.352 |
| 0.051 | 0.743 | 0.637 |
| 0.052 | 0.545 | 0.438 |
| 0.052 | 0.574 | 0.363 |
| 0.054 | 0.559 | 0.544 |
| 0.070 | 0.743 | 0.439 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.443 | 4.623 | 2.901 |
| 0.363 | 3.964 | 5.493 |
| 0.346 | 4.227 | 3.992 |
| 0.381 | 3.445 | 2.649 |
| 0.482 | 4.312 | 3.847 |
| 0.470 | 5.247 | 3.415 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 0.618 | 8.924 | 5.553 |
| 0.808 | 8.747 | 9.404 |
| 0.630 | 6.768 | 6.068 |
| 0.701 | 7.225 | 5.571 |
| 0.781 | 6.787 | 9.217 |
| 0.859 | 8.442 | 6.018 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.056 | 0.644 | 0.462 |
| Δ Rz0 | Δ Rz2 | Δ Rz4 |
| 0.414 | 4.303 | 3.716 |
| Δ Rt0 | Δ Rt2 | Δ Rt4 |
| 0.733 | 7.816 | 6.972 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.565 | 0.551 | 0.533 |

Tabelle 8

P9 Biocette

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.098 | 0.365 | 0.282 |
| 0.108 | 0.294 | 0.275 |
| 0.095 | 0.357 | 0.346 |
| 0.102 | 0.388 | 0.256 |
| 0.083 | 0.349 | 0.344 |
| 0.104 | 0.243 | 0.259 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.557 | 3.471 | 2.365 |
| 0.763 | 2.492 | 2.077 |
| 0.651 | 2.285 | 2.798 |
| 0.734 | 2.707 | 1.754 |
| 0.507 | 2.438 | 2.008 |
| 0.922 | 1.842 | 1.731 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 1.011 | 6.446 | 3.770 |
| 1.133 | 4.296 | 3.567 |
| 1.055 | 3.439 | 4.634 |
| 1.299 | 6.428 | 4.838 |
| 0.786 | 4.259 | 3.870 |
| 1.196 | 2.717 | 2.749 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.098 | 0.333 | 0.294 |
| Δ Rz0 | Δ Rz2 | Δ Rz4 |
| 0.689 | 2.539 | 2.122 |
| Δ Rt0 | Δ Rt2 | Δ Rt4 |
| 1.080 | 4.598 | 3.905 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.638 | 0.552 | 0.544 |

P10 Biocette

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.121 | 0.385 | 0.274 |
| 0.119 | 0.415 | 0.385 |
| 0.102 | 0.373 | 0.368 |
| 0.130 | 0.392 | 0.354 |
| 0.093 | 0.402 | 0.379 |
| 0.084 | 0.397 | 0.308 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.821 | 3.289 | 2.731 |
| 0.890 | 3.105 | 2.718 |
| 0.681 | 2.471 | 2.627 |
| 0.979 | 3.923 | 3.165 |
| 0.607 | 2.320 | 2.012 |
| 0.598 | 2.119 | 1.857 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 1.172 | 5.468 | 4.937 |
| 1.580 | 4.932 | 4.173 |
| 1.504 | 4.382 | 3.865 |
| 0.886 | 3.751 | 3.527 |
| 1.060 | 5.207 | 4.756 |
| 0.891 | 4.583 | 4.034 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.108 | 0.394 | 0.345 |
| Δ Rz0 | Δ Rz2 | Δ Rz4 |
| 0.763 | 2.872 | 2.518 |
| Δ Rt0 | Δ Rt2 | Δ Rt4 |
| 1.182 | 4.721 | 4.265 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.646 | 0.608 | 0.590 |

Tabelle 9

*P11 Biocette*

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.052 | 0.471 | 0.452 |
| 0.061 | 0.210 | 0.354 |
| 0.075 | 0.463 | 0.461 |
| 0.054 | 0.398 | 0.352 |
| 0.064 | 0.427 | 0.383 |
| 0.072 | 0.385 | 0.365 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.439 | 3.218 | 2.738 |
| 0.398 | 2.538 | 2.445 |
| o.469 | 2.794 | 2.208 |
| 0.445 | 2.835 | 2.538 |
| 0.463 | 3.023 | 3.124 |
| 0.476 | 2.486 | 2.402 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 0.657 | 6.389 | 5.739 |
| 0.793 | 5.324 | 5.151 |
| 0.814 | 4.937 | 4.376 |
| 0.802 | 4.785 | 4.625 |
| 0.787 | 6.732 | 5.927 |
| 0.842 | 5.413 | 4.863 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.063 | 0.392 | 0.395 |
| Δ Rz0 | Δ Rz2 | Δ Rz4 |
| 0.448 | 2.816 | 2.546 |
| Δ Rt0 | Δ Rt2 | Δ Rt4 |
| 0.783 | 5.597 | 5.114 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.572 | 0.503 | 0.498 |

*P12 Biocette*

| Ra0 | Ra2 | Ra4 |
|---|---|---|
| 0.059 | 0.503 | 0.487 |
| 0.052 | 0.447 | 0.398 |
| 0.051 | 0.518 | 0.476 |
| o.063 | 0.352 | 0.385 |
| 0.067 | 0.484 | 0.443 |
| 0.074 | 0.574 | 0.502 |

| Rz0 | Rz2 | Rz4 |
|---|---|---|
| 0.638 | 3.469 | 3.021 |
| 0.675 | 3.324 | 3.182 |
| 0.589 | 2.573 | 2.967 |
| 0.683 | 3.725 | 3.735 |
| 0.694 | 3.597 | 3.683 |
| 0.698 | 3.918 | 3.871 |

| Rt0 | Rt2 | Rt4 |
|---|---|---|
| 1.197 | 6.845 | 6.738 |
| 1.084 | 6.639 | 6.235 |
| 0.938 | 4.787 | 5.384 |
| 1.207 | 6.349 | 6.825 |
| 1.275 | 5.983 | 6.207 |
| 1.298 | 6.827 | 6.753 |

| Δ Ra0 | Δ Ra2 | Δ Ra4 |
|---|---|---|
| 0.061 | 0.480 | 0.449 |
| Δ Rz0 | Δ Rz2 | Δ Rz4 |
| 0.663 | 3.434 | 3.410 |
| Δ Rt0 | Δ Rt2 | Δ Rt4 |
| 1.167 | 6.238 | 6.357 |
| V0 | V2 | V4 |
| 0.568 | 0.551 | 0.537 |

Tabelle 10

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $V0_1$ | 0.415 | $V2_1$ | 0.446 | $V4_1$ | 0.769 |
| $V0_2$ | 0.437 | $V2_2$ | 0.463 | $V4_2$ | 0.564 |
| $V0_3$ | 0.533 | $V2_3$ | 0.612 | $V4_3$ | 0.703 |
| $V0_4$ | 0.447 | $V2_4$ | 0.470 | $V4_4$ | 0.564 |
| $V0_5$ | 0.435 | $V2_5$ | 0.440 | $V4_5$ | 0.672 |
| $V0_6$ | 0.442 | $V2_6$ | 0.474 | $V4_6$ | 0.634 |
| $\Delta V0$ | 0.452 | $\Delta V2$ | 0.484 | $\Delta V4$ | 0.651 |

Tabelle 11

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $V0_7$ | 0.524 | $V2_7$ | 0.519 | $V4_7$ | 0.492 |
| $V0_8$ | 0.565 | $V2_8$ | 0.551 | $V4_8$ | 0.533 |
| $V0_9$ | 0.638 | $V2_9$ | 0.552 | $V4_9$ | 0.544 |
| $V0_{10}$ | 0.646 | $V2_{10}$ | 0.608 | $V4_{10}$ | 0.590 |
| $V0_{11}$ | 0.572 | $V2_{11}$ | 0.503 | $V4_{11}$ | 0.498 |
| $V0_{12}$ | 0.568 | $V2_{12}$ | 0.551 | $V4_{12}$ | 0.537 |
| $\Delta V0$ | 0.586 | $\Delta V2$ | 0.547 | $\Delta V4$ | 0.532 |

Tabelle 12

Erläuterungen zu den Tabellen 5 - 10

Die Tabellen 5 - 10 geben die im Perth - o - meter ermittelten Werte für die Isocette (P1 - P6) und die Biocette (P7 - P12) wieder.
Es wurde eine Anfangsmessung (0), eine Zwischenmessung nach 2 Stunden (2) und eine Endmessung nach 4 Stunden (4) durchgeführt.

Pro Prüfkörper wurden sechs Teststrecken abgefahren und anschließend das arithmetische Mittel gebildet.

$R_a$ = Mittenrauhwert

$R_t$ = Maximale Rauhtiefe

$R_z$ = Gemittelte Rauhtiefe

v = Völligkeitsgrad

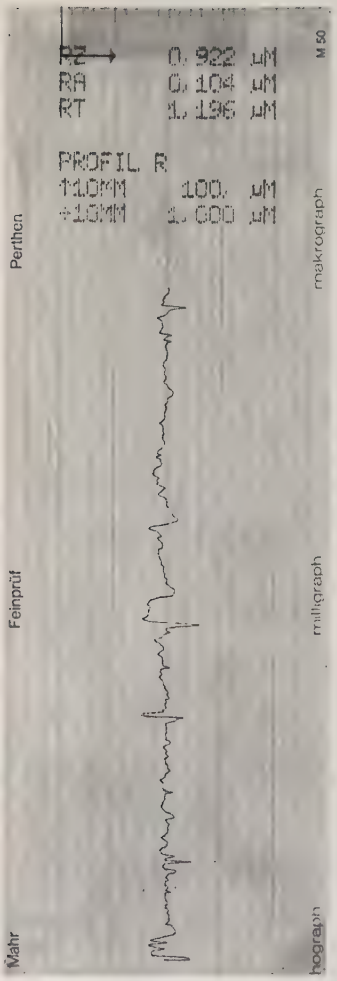
$\Delta x$ = arithmetisches Mittel

Zur Veranschaulichung der gefundenen Ergebnisse wurden zusätzlich Rasterelektronenmikroskopbilder hergestellt. Im folgenden werden je zwei Versuchsreihen dargestellt.

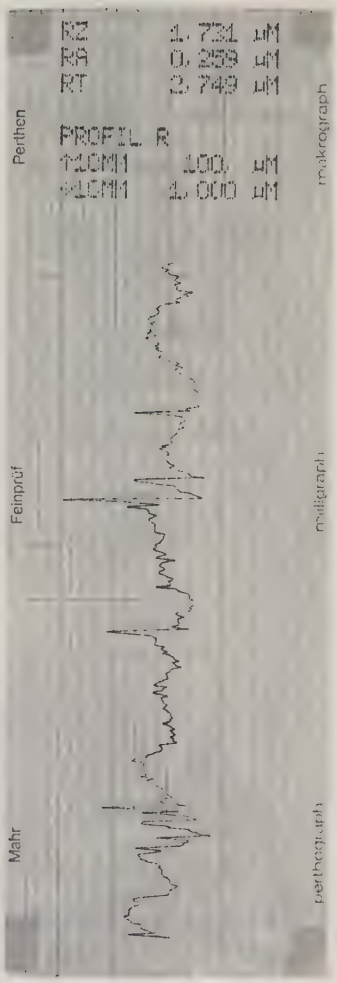
Die Abbildung 23 zeigt die Ausgangssituation, wie sie bei einer Biocettenschale anzutreffen ist.
Schon in diesem Stadium fallen einem die großen Oberflächenunebenheiten (Berge und Täler) sowie Füllstoffkörner auf.
Zusätzlich wird dies durch einen Meßstreifen der Oberflächenrauhigkeit unterstrichen.
Im Bild 24 ist derselbe Prüfkörper nach vier Stunden Beanspruchung abgebildet.
Während des Abrasivverschleißes ist es zu einer enormen Aufrauhung der Oberfläche und zum Herauslösen von Kunststoffpartikeln gekommen, so daß nun eine große Anzahl von Füllstoffkörnern die Oberfläche überragt.
Die Probe weist bedingt durch den Abrieb Kratzer und Riefen auf.
Im dazugehörigen Meßstreifen bemerkt man die stärkere und längere Frequenz.
Die über den Meßstreifen 1 und 2 ermittelten Werte haben sich insgesamt erhöht und der Völligkeitsgrad ist geringer geworden.
Abbildung Nummer 25 und 26 mit den Meßstreifen 3 und 4 zeigen eine adäquate Situation wie bei Nummer 23 und 24 für einen weiteren Biocettenprüfkörper.

Abb.23

Abb.24



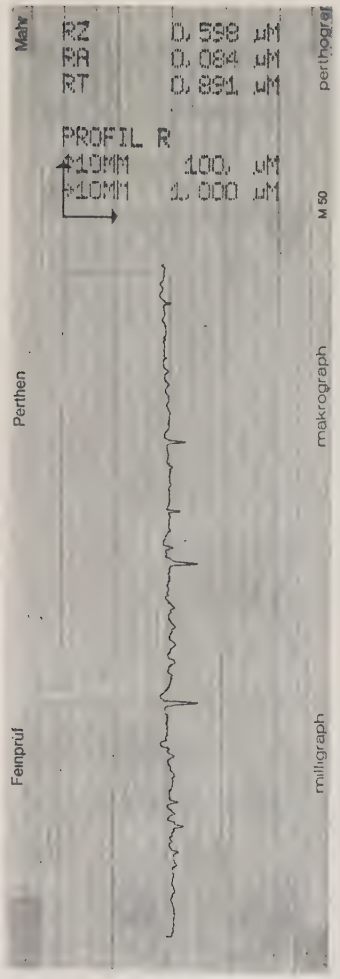

Meßstreifen 1



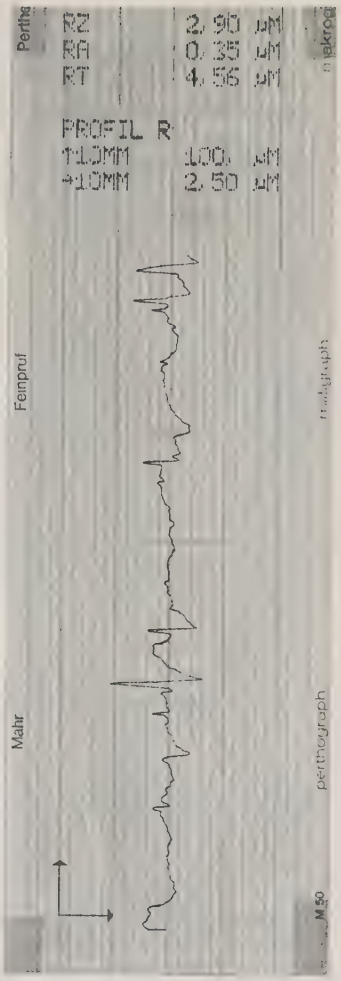

Meßstreifen 2

Abb. 25

Abb. 26




Meßstreifen 3

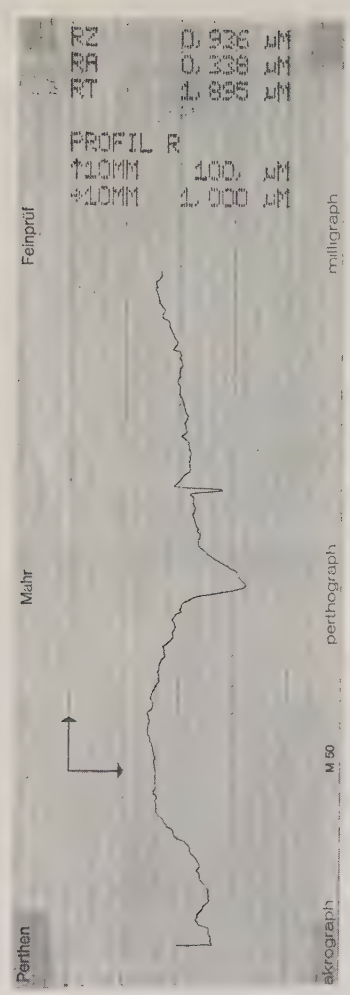



Meßstreifen 4

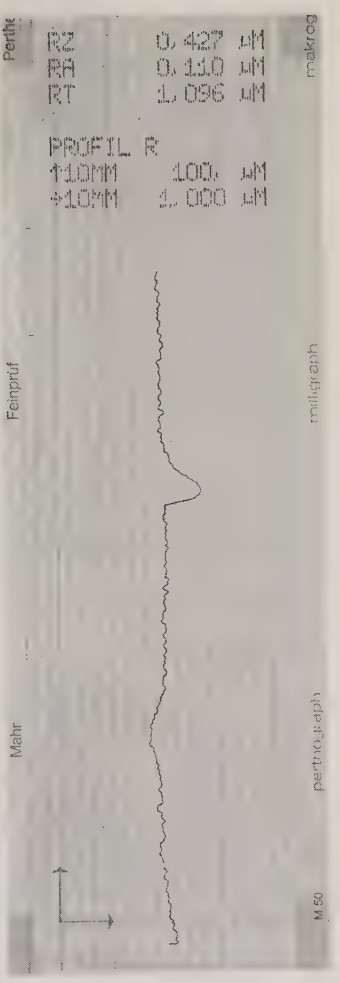
Die Isocettenschalen sind in den Abb. 27 - 30 erfaßt.
Im Gegensatz zu den Biocettenproben fallen hier die bei weitem homogeneren Oberflächen zu Versuchsbeginn auf.
Nach Ablauf des Versuches ist eine für Kunststoffe nahezu ideale Oberflächengestaltung erreicht. Dies wird auch durch die angehefteten Meßstreifen 5 - 8 und den erreichten höheren Völligkeitsgrad bestätigt.

Abb. 27

Abb. 28



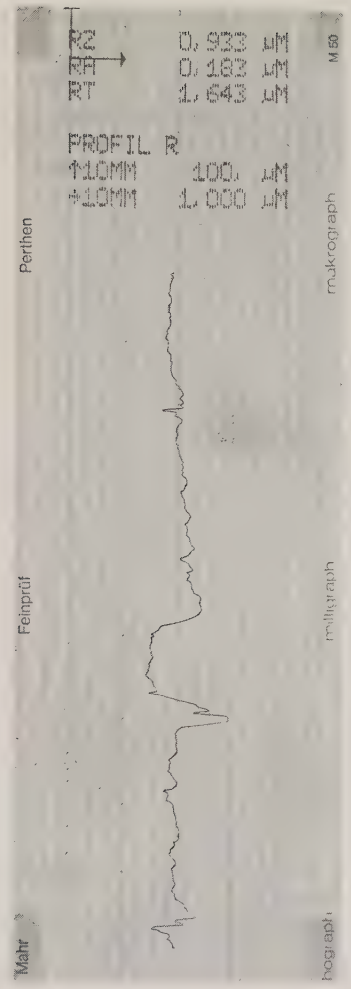

Meßstreifen 5



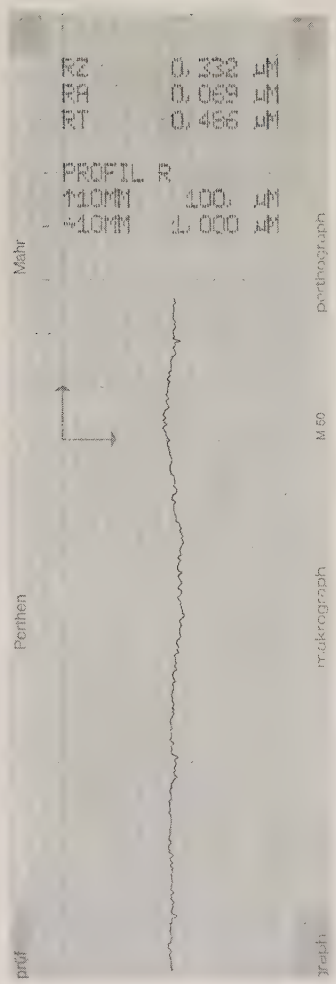

Meßstreifen 6

Abb. 29

Abb. 30




Meßstreifen 7




Meßstreifen 8

## .5. Diskussion

Eine abschließende kritische Betrachtung aller Ergebnisse und der Rasterelektronenmikroskopbilder zeigen für die Isocettenschalen eine weitaus geringere Abrasion als die Biocettenschalen.
Das Wasseraufnahmevermögen hingegen läßt keine nennenswerten Unterschiede erkennen.
Es sei aber nochmals an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß es sich bei den ermittelten Werten um Relativzahlen handelt, die in einem reinen Laborversuch ermittelt worden sind.
Trotzdem ist durch die Versuche eine Tendenz deutlich geworden, die durchaus Rückschlüsse auf die Praxis ziehen läßt.
Durch das positive Verhalten der Isocettenschalen in Verbindung mit einer Verbesserung der Oberflächengestalt durch eine Abrasivbeanspruchung ist es mit diesem Werkstoff gelungen, einen Kunststoff herzustellen, der den Anforderungen einer praxisnahen Verwendung gerecht wird.
Es ist aber festzustellen, daß die Verwendung von Zahnputzmitteln und Zahnbürste bei kunststoffverkleideten Kronen- und Brückenarbeiten zu unübersehbaren Abrasionserscheinungen führt.
Für die Praxis erscheinen deshalb die Forderungen zweckmäßig, daß solche Arbeiten entweder nur mit Zahnbürste und Wasser (H.Böttger, 6/7) oder aber in Verbindung mit einer Zahnpasta mit geringen Abrasivstoffen gesäubert werden sollen.

## .6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die beiden Kunststoffschalen "Isocette" und "Biocette" auf ihre Abriebfestigkeit untersucht.
Aus diesem Grund wurden die Schalen in Metallformen eingebettet, um sie so in einer geeigneten Putzmaschine zu beanspruchen und anschließend eine eindeutige Messung der Oberflächen an definierten Punkten im Perth - o - meter durchzuführen.
Die Abrasion wurde durch Zahnbürsten hervorgerufen, die mit einem Auflagedruck von 400 p auf den Proben aufruhten.
Die Putzdauer betrug 4 Stunden, dies entspricht einer Tragezeit von ca. zwei Jahren.
Als Abrasivgemisch diente ein Pasten - Gemisch aus einem Teil Zahnpasta ("Blendax Antibelag") und vier Teilen Wasser.
Die Messung des Abrasivverschleißes erfolgte über einen Gewichtsverlust und durch eine Oberflächenabtastung.
Der durchschnittliche Gewichtsverlust betrug bei den:

| | |
|---|---|
| "Isocetten" | 2.39 mg |
| "Biocetten" | 4.17 mg |

Die Oberflächenuntersuchungen ergaben bei den "Isocetten eine Erhöhung des Völligkeitsgrades von 0.452 auf 0.651; wo hingegen es bei den "Biocetten" zu einem Absinken von 0.586 auf 0.532 kam.
Diese Ergebnisse konnten zusätzlich durch angefertigte Rasterelektronenmikroskopbilder bestätigt werden.

Durch die Entwicklung der "Isocette" erfährt die Kunststoffverblendtechnik eine wesentliche Verbesserung der Materialeigenschaften hinsichtlich des Abrasivverschleißes.
Dem Zahntechniker ist somit eine Verblendung angeboten worden, die nicht nur hinsichtlich ihrer Verarbeitung sondern auch bezüglich ihres Abrasionsverhaltens als nahezu optimal angesehen werden muß.
Trotzdem sollte der Zahnarzt nach Eingliederung von kunststoffverkleideten Kronen- und Brückenarbeiten den Patienten auf die abrasive Wirkung von Zahnpasta hinweisen und Zahnpasten mit niedrigem Abrasivwert benennen.

## 4. Literaturverzeichnis

(1) Bastian, W.:
Abriebuntersuchungen an den Verblendkunststoffen K + B, K + B Material Neu, Palaferm Neue Formel kalt und warm und Biodent K + B Hedent unter besonderer Berücksichtigung der in der Mundhöhle auftretenden Temperaturdifferenzen
Köln, Med. Diss (1974)

(2) Becker, E.J.:
Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß von Zahnpasten und Zahnbürsten auf die Zahnsubstanzen
Münster, Inaug. Diss. (1955)

(3) Beyerle, K. und Moser, M.:
Zahnabrasionen, Zahnfleischverletzungen und tägliche Mundhygiene
Dtsch. Zahnaertl. Z. 15 (1960)

(4) Bieske, R.H.:
Neue Methode zur Untersuchung der Abriebfestigkeit zahnärztlicher Materialien
Dtsch. Stomatol. 18 (1968)

(5) Birke, P.:
Die Kunststoffschalentechnik in der Kronen- und Brückenprothetik
Dtsch. Stomatol. 12, 4 (1962)

(6) Böttger, H.:
Die Reinigung abnehmbarer Kunststoffprothesen
ZM 11 (1962)

(7) Böttger, H.:
Prothesenhygiene
Dtsch. Zahnaertl. Z. 18, 17 (1963)

(8) De Trey:
Biodent - Extramat Info der Firma De Trey

(9) Deutsche Normen

(10) DIN 4760 (1960)

(11) DIN 4762 (1960)

(12) DIN 4763 (1960)

(13) DIN 4767 (Entwurf 1967)

(14) DIN 4768 (Vornorm 1970)

(15) DIN 50320 (Vornorm 1953)

(16) DIN 50320 (Entwurf 1976)

(17) DIN 53465

(18) Flerlage, Th. und Marxkors, R.:
Abrasion des Verblendkunststoffes durch Zahnpflegemittel
Dtsch. Zahnärzteblatt XXIII / 3

(19) Flierdt, J. van de:
Untersuchungen über die Abrasionsfestigkeit von Akrylaten und Mischpolymerisaten als Verblendkunststoffe sowie von Polykarbonat.
Münster, Inaug. Diss. (1971)

(20) Froning, L.:
Über die Wirkung von Zahnbürsten und Zahnpasten auf den Schmelz
Med. Diss. (1957)

(21) Gerke, J. und Klemt, W.:
Die Bedeutung des mechanischen Reinigungseffektes für die orale Mundhygiene
Dtsch. Zahnaertl. Z. 14 (1952)

(22) Gründler, H.:
Die Schmelzschale
Dentallabor 4 (1971)

(23) Gutowski, F. und A.:
Porzellan und Kunststoff in der Kronenprothetik
Dtsch. Zahnärzteblatt XVII / 16

(24) Hofmann, M.:
Erfahrungen mit kunststoffverkleideten Kronen- und Brückenkonstruktionen
Dtsch. Zahnaertl. Z. 13, 9 (1958)

(25) Kraft, E.:
Physiologische Grundlagen und Technik des Brückenzahnersatzes
Dtsch. Zahnärzteblatt XIX / 5 (1964)

(26) Kragelski, M.:
Abrieb und Verschleiß
Carl Hanser Verlag (1971)

(27) Lange, D.-E.:
Parodontologie in der täglichen Praxis
Quintessenz Bibliothek (1981)

(28) Leimgruber, C.:
Etwas über Zahnbürsten
Schweiz. Monats. Schr. Zahnheilkd. 61 (1951)

(29) Marxkors, R. und Meiners. H.:
Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde
Carl Hanser, München

(30) Meyer, H.:
Über die Abriebfestigkeit zahnärztlicher Kunststoffe
Dtsch. Zahnaertl. Z. 10, 3 (1955)

(31) Oebels, K.-H.:
Vergleichende Abriebuntersuchungen an dem heiß- und kaltpolymerisierenden Kunststoff "Palaferm Neue Formel" in Verbindung mit der Schmelzschale "Biocette"
Düsseldorf, Med. Diss. (1974)

(32) Perthen
Bedienungsanleitung zum Perth - o - meter S 5 P der Firma Perthen

(33) Pohling, P.:
Experimentelle Untersuchungen von Kunststoffzähnen und Kunststoffen für Kronen und Brückenverkleidung
Med. Diss. (1965)

(34) Rateitschak, K.H.:
Ziele, Wege und Resultate der parodontalen Lokalbehandlung
Deutscher Zahnärztekalender Carl Hanser Verlag (1974)

(35) Reinken, W.:
Experimentelle Untersuchungen der Abrasionswirkung von Zahnbürsten und Zahnpasten
Münster, Med. Diss. (1955)

(36) Riethe, P.:
Zahnpasten - kosmetische, prophylaktische oder therapeutisch - prophylaktische Mittel
Zahnärztl. Mitt. 66 (1976)

(37) Ritze, H.; Hoffmann, J. und Franz, G.:
Über die abrasive Wirkung der Kunststoff-zahnbürsten am Verblendstoff
Zahnärztliche Praxis 17 (1966)

(38) Ritze, H. und Scholz, H.:
Die abrasive Wirkung der Zahnpasten am Verblendkunststoff
Zahnärztliche Praxis 17 (1966)

(39) Taege, F.:
Vergleichende Abriebuntersuchungen an Kunststoffen
Dtsch. Stomatol. 11, 9 (1961)

(40) Uetz, H.:
Grundlagen des Verschleißes im Hinblick auf neuere Erkenntnisse auf dem Gebiet der Verschleißforschung
Braunkohle, Wärme, Energie 20 (1963)

(41) Uetz, H. und Föhl, J.:
Gleitverschleißuntersuchungen an Metallen und nichtmetallischen Werkstoffen unter Wirkung körniger Stoffe
Braunkohle, Wärme, Energie 21 (1969)

(42) Uetz, H. und Föhl, J.:
Verschleiß und Reibung als komplexe mechanisch - physikalische chemische Prozesse
Erzmetalle 23 (1970)

(43) Uetz, H. und Föhl, J.:
Prüftechnik bei einem Verschleißsystem aufgrund der Verschleißanalyse, insbesondere der thermischen Analyse
VDI Berichte Nr. 194 (1973)

(44) Uetz, H. und Föhl, J.:
Abriebverhalten von Kunststoffen für den dentalen Anwendungsbereich
Dentallabor 6 (1974)

(45) Voss, A.:
Untersuchungen über Wirkungen von Reinigungsmitteln auf Zahnprothesen
Inaug. Diss. (1961)

(46) Wannenmacher, E.:
Auswirkungen von Zahnpflegemitteln auf Zahnhartgewebe und Schleimhaut. Sonderdruck aus der Ernährungsindustrie
- Fette - Seife - Anstrichmittel - 63 (1961)

(47) Wengel, H.:
Abriebuntersuchungen an weichbleibenden Kunststoffen und einem warmpolymerisierten Kunststoff
Düsseldorf, Med. Diss. (1965)

Herrn Prof. Dr. Hermann Böttger danke ich für die Überlassung des Themas und die hilfreiche Beratung und Unterstützung.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Dr. Plöger, Herrn Dr. Klüpel und Herrn Laska, ohne deren Entgegenkommen die Versuche und Berechnungen nicht möglich gewesen wären.

Außerdem möchte ich Herrn Prof. Dr. Weber und Herrn Priv. Doz. Dr. Stüttgen für ihre stete Hilfsbereitschaft und ihre wertvollen Anregungen bei der Durchführung der Arbeit danken.

Lebenslauf

Am 10. Mai 1956 wurde ich als Sohn der Zahnärzte Dr. Klaus Lüling und Dr. Christel Lüling-Wilz in Bonn geboren.

Ostern 1962 wurde ich in die katholische Grundschule in Bonn-Dottendorf eingeschult. Von Ostern 1966 bis zu meinem Abitur am 14.6.1974 besuchte ich das Aloisiuskolleg in Bonn-Bad Godesberg.

Zum Wintersemester 1974/75 erhielt ich die Zulassung zum Zahnmedizinstudium an der Universität Düsseldorf.

Hier legte ich im Dezember 1975 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im Frühjahr 1977 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Im Dezember 1979 machte ich mein Staatsexamen in Düsseldorf und erhielt die Bestallung als Zahnarzt.

Sofort anschließend übte ich bis Ende Oktober eine Assistententätigkeit in der Prothetischen Abteilung der Westdeutschen Kieferklinik der Universität Düsseldorf und im November und Dezember 1981 eine Assistententätigkeit in einer Praxis aus.

Am 1. Januar 1982 habe ich mich als Zahnarzt in Bonn-Dottendorf niedergelassen.